Vernetzen statt vernichten

Wasserstoff aus Strom bzw. „power to gas“, das umwelt- und klimabelastende, teure und unnötige Beschäftigungsprogramm für Atom- und Kohlekraftwerke

Wer B sagt, muss auch A und C sagen

Dr.-Ing. Hartmut Euler, Ministerialdirigent, Kiel,
Der Beitrag gibt die private Fachmeinung des Autors wieder

Präsentation zur Veröffentlichung, Januar 2014
Die Veröffentlichung findet sich unter: http://www.energieverbraucher.de/files_db/1378106655_8702__12.pdf
sowie in der Zeitschrift für neues Energierecht 2013, Heft 5 S. 487 – 494 oder kann beim Autor bezogen werden drhartmuteuler@gmail.com

Wasserstoff aus Strom (Knallgas) wird in vielen Publikationen als umweltfreundlicher, klimaschonender und energiesparender Beitrag zur Energiewende dargestellt.

Das Gegenteil ist fast immer der Fall.

Für das Problem des (vorübergehenden) Abbaus von Stromlastspitzen (300 – 500 Stunden im Jahr) ist Wasserstoff aus Strom nach allen Erkenntnissen nur theoretisch geeignet, praktisch nicht.

Für die langfristige Lösung des Speicherproblems gibt es wesentlich effizientere, kostengünstigere und umweltschonendere Alternativen.

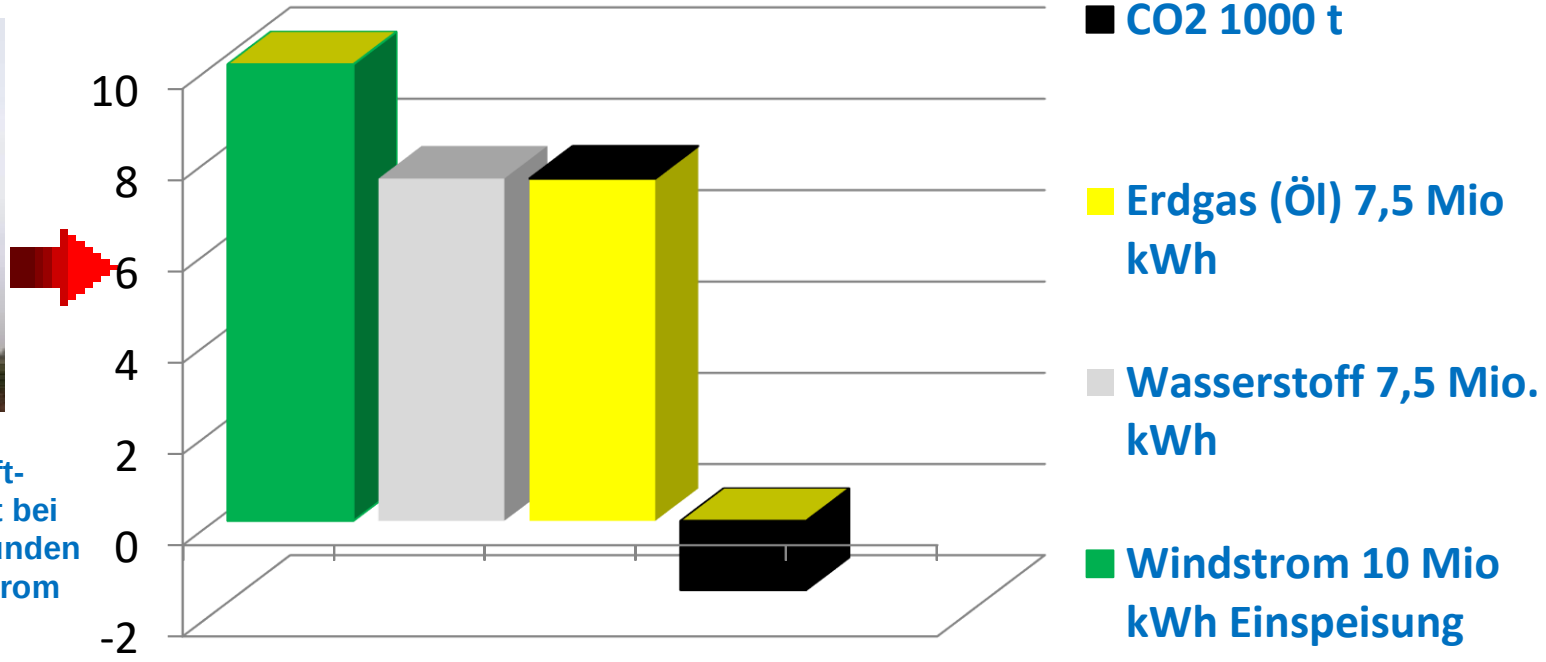
Hauptgrund für diese Bewertung: Bei Umwandlung von hochwertigem Strom in einfachen Brennstoff (Wasserstoff) gehen ca. 70 % des Energiewertes des Stroms aus unabänderlichen, naturwissenschaftlichen Gründen verloren.

Elektrolysestrom kommt nicht aus der Steckdose, sondern aus Kraftwerken: Die riesigen Verluste von ca. 70 % müssen durch Stromerzeugung aus Kohlekraft, Atomkraft oder sonst aus sehr vielen erneuerbaren Anlagen zusätzlich ausgeglichen werden, was fast immer gezielt verschwiegen wird.

Häufige Darstellung: Windstrom wird per Elektrolyseur in Wasserstoff umgewandelt. Dieser „Windwasserstoff“ verdrängt Erdgas und kann gespeichert, für Industrie oder für den Verkehr verwendet werden und vermeidet so Klimagasemissionen und ist deshalb ein Beitrag zur Energiewende, zum Klimaschutz und zum Umweltschutz



5 MW Windkraft-Anlage erzeugt bei 2000 Vollaststunden 10 Mio. kWh Strom pro Jahr

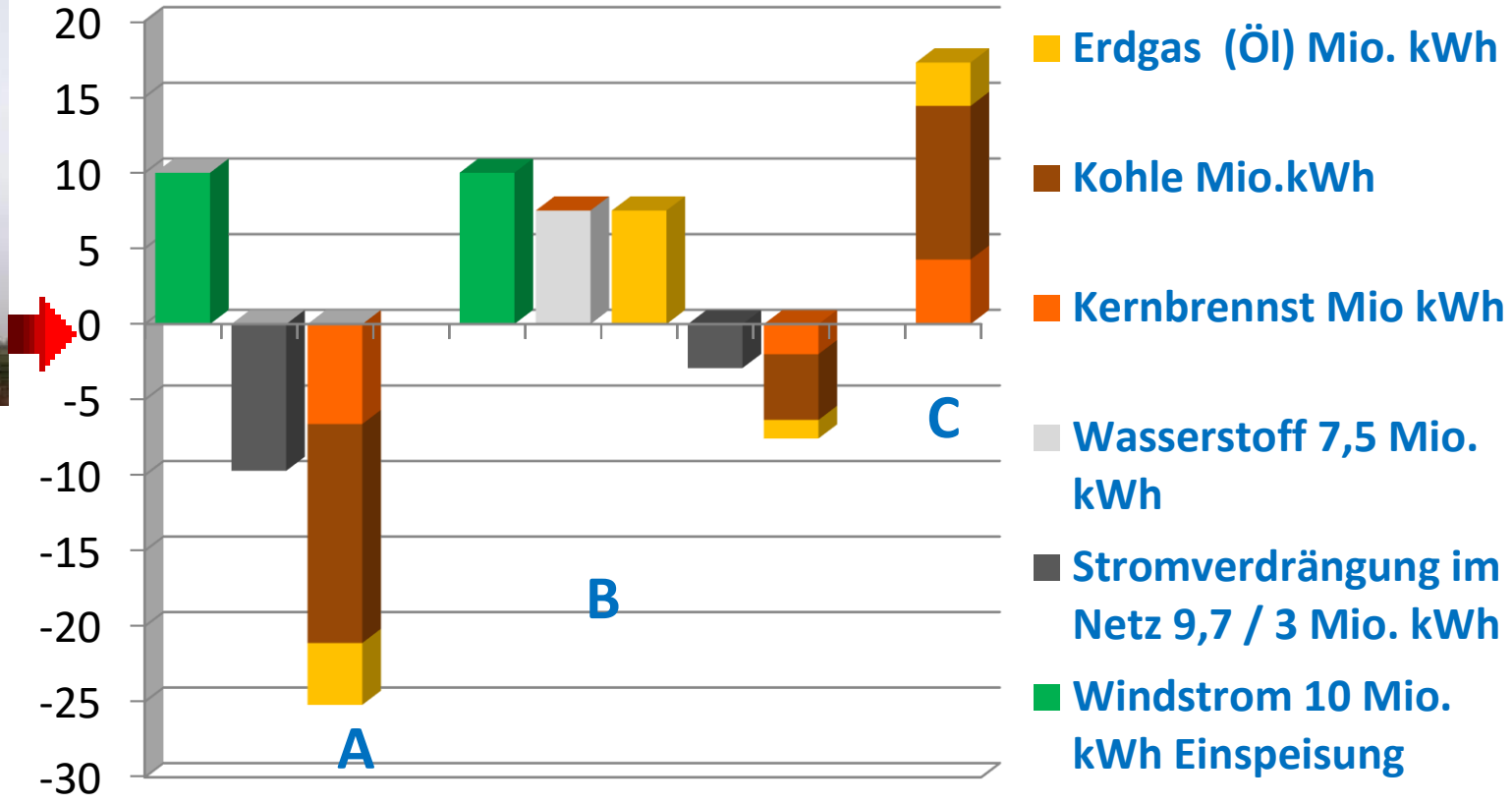


B

Vorsicht: dies ist eine unvollständige und irreführende Darstellung: Wer B sagt, muss auch A und C mit nennen. Korrekte Darstellung auf den nächsten Folien

Energiebilanz bei Windstromeinspeisung ins Stromnetz und bei Umweg über Wasserstoff mit Rückverstromung Strom aus einer 5 MW Windkraftanlage mit 2000 Stunden (10 Mio. kWh)





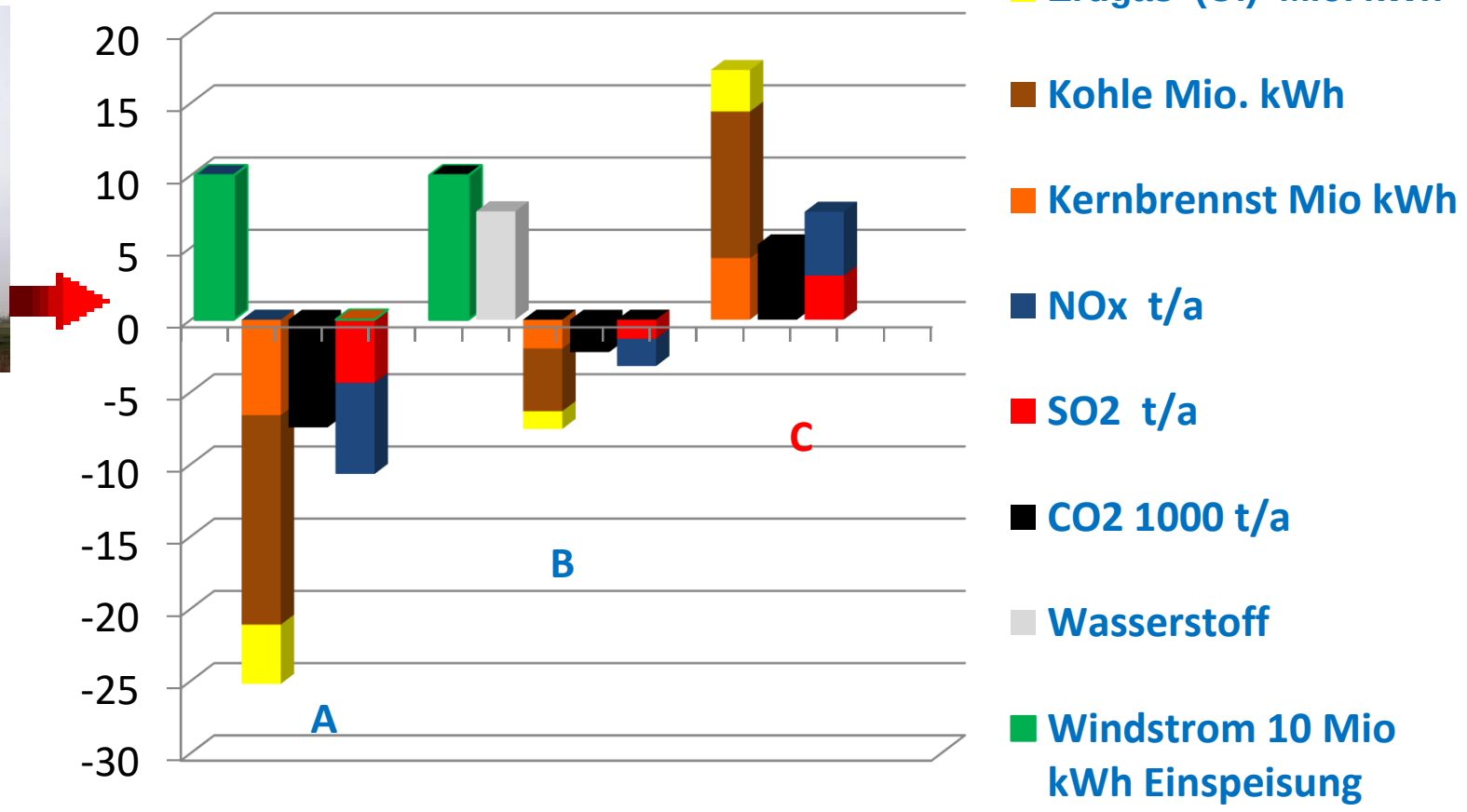
A: verdrängte Brennstoffmenge durch Strom aus der Windkraftanlage: 25,3 Mio. kWh (Einsparung)

B: verdrängte Brennstoffmenge nach Abzweigung über Elektrolyse / Rückverstromung: 7,6 Mio. kWh
Stromverdrängung/Brennstoffreduzierung um ca. 70 % vermindert.

C: Bilanz A – B: Mehrverbrauch an Kernbrennstoffen und fossilen Brennstoffen: 17,4 Mio. kWh
4,3 Mio. kWh zusätzliche Kernbrennstoffe, 10,2 Mio. zusätzliche Kohle- und 2,9 Mio. kWh Gas

Klimagas- und Schadstoffbilanz bei Einspeisung ins Stromnetz und bei Umweg über Wasserstoff mit Rückverstromung; Strom aus einer 5 MW Windkraftanlage mit 2000 Stunden (10 Mio. kWh)





A: heute Einspeisung: verdrängte Klimagas- und Schadstoffmenge 7450 t CO_2 ; 4,4 t SO_2 ; 6,3 t NO_x

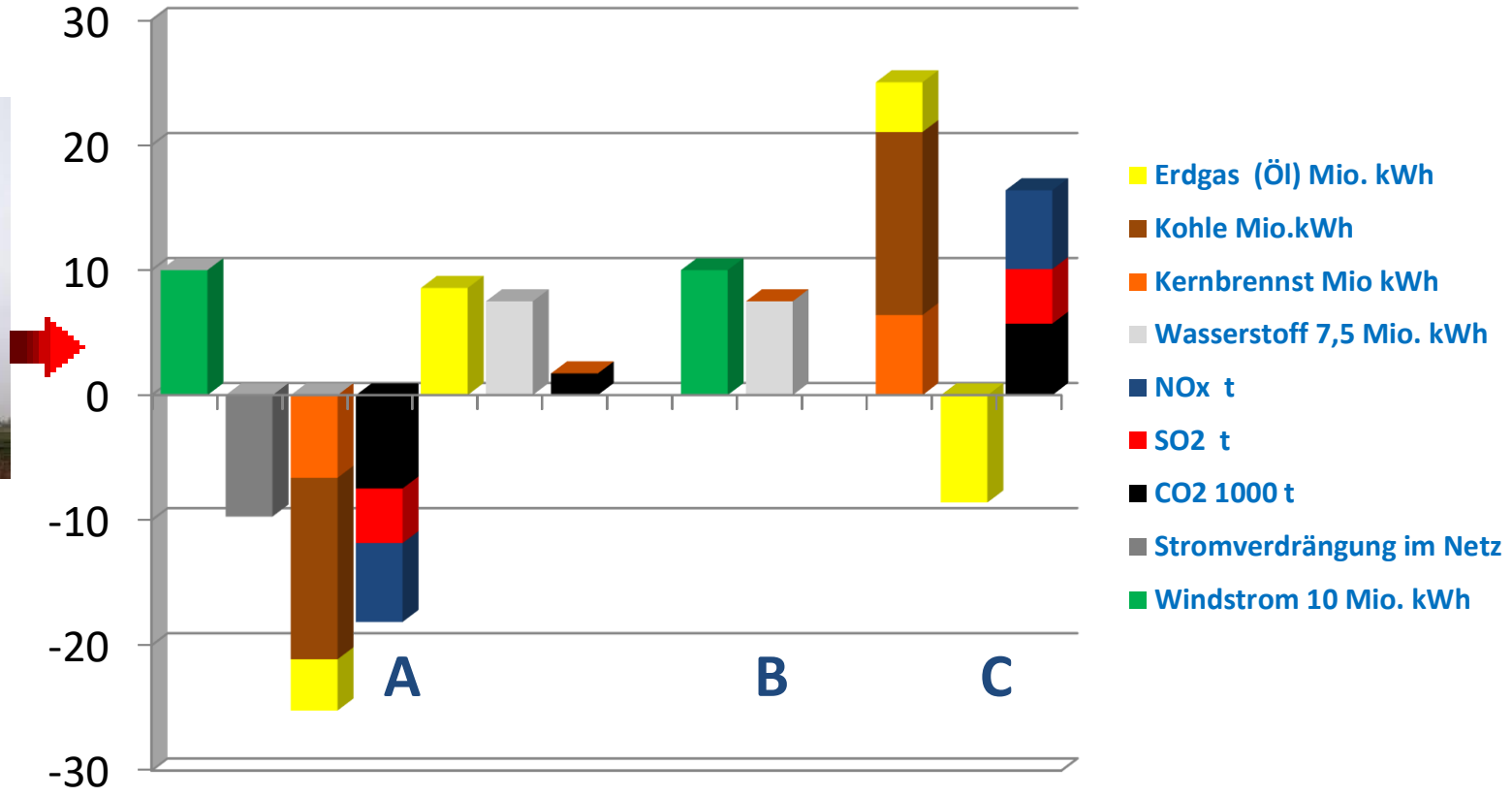
B: Wasserstoff Umweg: verdrängte Klimagas- und Schadstoffmenge 2235 t CO_2 ; 1,3 t SO_2 ; 1,9 t NO_x

C: Bilanz A – B: Mehremissionen durch Wasserstoffumweg: 5215 t CO_2 ; 3,1 t SO_2 ; 4,4 t NO_x

Anmerkung: Wenn gemäß IWES optimistisch (s.u.) die max. angegebene Strom – Rückgewinnungsquote von 36 % unterstellt wird, reduzieren sich die Energie- und Emissionswerte unter „C“ um etwa 10 %

Energie-/Umweltbilanz bei Einspeisung ins Stromnetz und bei Produktion von Wasserstoff für Industrie
Strom aus einer 5 MW Windkraftanlage mit 2000 Stunden (10 Mio. kWh)





A: Status Quo: Windstrom speist ein und vermeidet 25,3 Mio. kWh Kraftwerksbrennstoffe;
zur Herstellung von 7,5 Mio. kWh Wasserstoff werden ca. 8,6 Mio. kWh Erdgas zusätzlich benötigt

B: Wasserstofflösung: aus 10 Mio. kWh Windstrom werden ca. 7,5 Mio. kWh Wasserstoff hergestellt.
Stromverdrängung findet nicht statt.

C: Bilanz A – B: 6,4 Mio. kWh Kernbrennstoffe und 14,6 Mio. kWh Kohle werden zusätzlich gespalten / verbrannt; Erdgaseinsparung 4,6 Mio. kWh; 5718 Tonnen CO_2, 4,4 t SO_2, 6,3 t NO_x werden zusätzlich emittiert.

Irreführende / falsche Bezeichnung „Windwasserstoff“

Nur Wasserstoff aus Strom aus Anlagen, die konkret aus Netzengpassgründen abgeschaltet würden, wenn er nicht umgewandelt wird, wird zu „Windwasserstoff“ – aller sonstige Strom, den ein Elektrolyseur verbraucht (weit mehr als 95 %), wird zu „Atomwasserstoff“ oder „Kohlewasserstoff“.

Das An- und Abschalten des Elektrolyseurs beeinflusst die mit Vorrang einspeisende Windkraftanlage in den wenigen Stunden nur dann in ihrem Produktionsverhalten, wenn sonst konkret abgeregelt würde, und auch nur in dem Fall, dass die Anlage dort steht, wo dies vom Netzengpass her relevant ist (also in Niebüll und nicht in Hamburg).

Selbst diese (weit weniger als 5%) „Windwasserstoff“ verlieren diese Eigenschaft aber sofort wieder, wenn die Stromtransportleitungen nach wenigen Jahren fertig gebaut sind.

Wie jeder Elektroingenieur und jeder Umweltingenieur weiß, kann man zwar „Atomstrom“, „Kohlestrom“ oder „Wind- bzw. Solarstrom“ direkt hinter dem Kraftwerk und vor der Einspeisung in das verbundene Stromnetz eindeutig identifizieren. Der Strom, der dem Netz entnommen wird, lässt sich aber nicht markieren, die Zuordnung lässt sich nur indirekt ermitteln. In der Regel wird das Bild verwendet, das Stromnetz sei eine große „Kupferplatte“ und der Strom wird vollständig vermischt.

Gedanken zu Bilanzen

Wenn jemand bei einer wirtschaftlichen Bonitätsprüfung 100.000 € Geld auf dem Konto angibt, die Schulden von 350.000 € aber verschweigt oder

wenn ein Unternehmen seine Gewinn- und Verlustrechnung so aufbaut, dass er systematisch nur die Gewinne angibt, die Verluste aber grundsätzlich verschweigt,

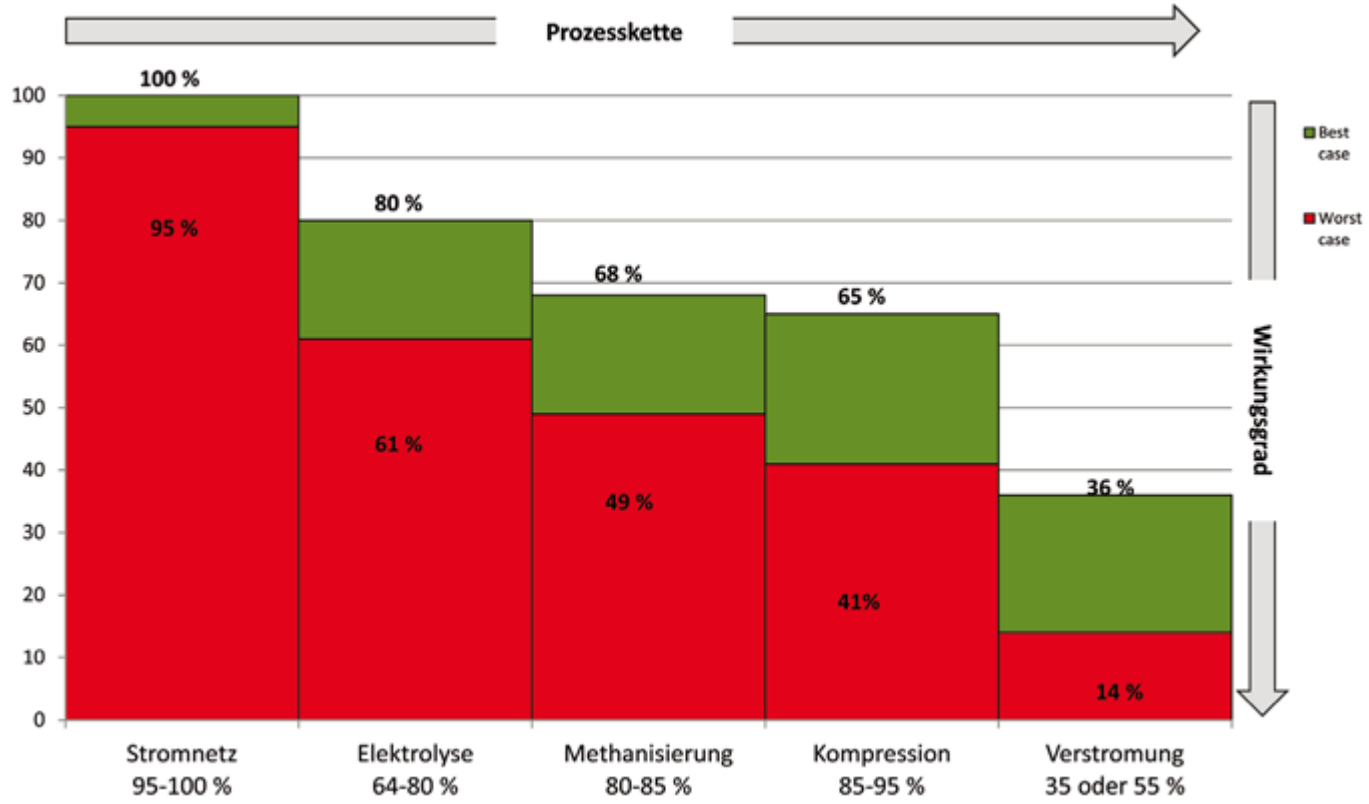
so treffen jedenfalls die Begriffe „unvollständig“ und „fehlerhaft“ zu, normalerweise auch noch wesentlich deutlichere Begriffe.

Wie gezeigt wurde, gehen positive Aussagen zu Energieeinsparung, Umwelt- und Klimaschutz bei Wasserstoff aus Strom immer auf methodisch und sachlich fehlerhaftes, systematisches Weglassen der „Verluste“, der Rückwirkungen auf den bestehenden Kraftwerkspark, also des Energiemehrverbrauchs, der zusätzlichen Klimagas- und Schadstoffemissionen zurück und sind sonst nicht möglich, (von der - mengenmäßig vernachlässigbaren - tatsächlichen, konkreten Abregelungsvermeidung abgesehen),

Die gezielt und systematisch erzeugten falschen Ergebnisse spielen eine zentrale Rolle bei der Frage, ob Steuermittel für Projekte gewährt werden oder nicht.

Jeder möge selbst das passende Wort zu diesen Vorgängen einfügen.

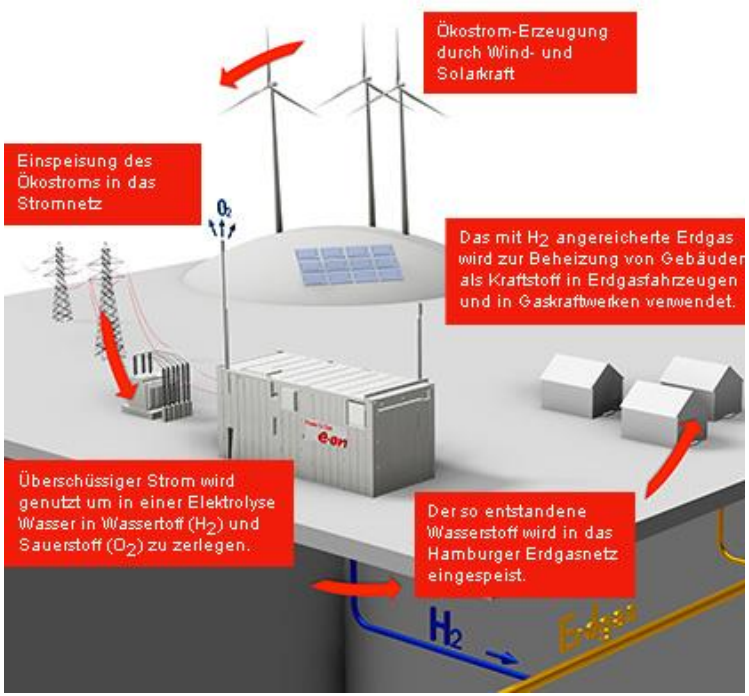
Pfad Elektrolyse – Methanisierung – Speicherung - Rückverstromung

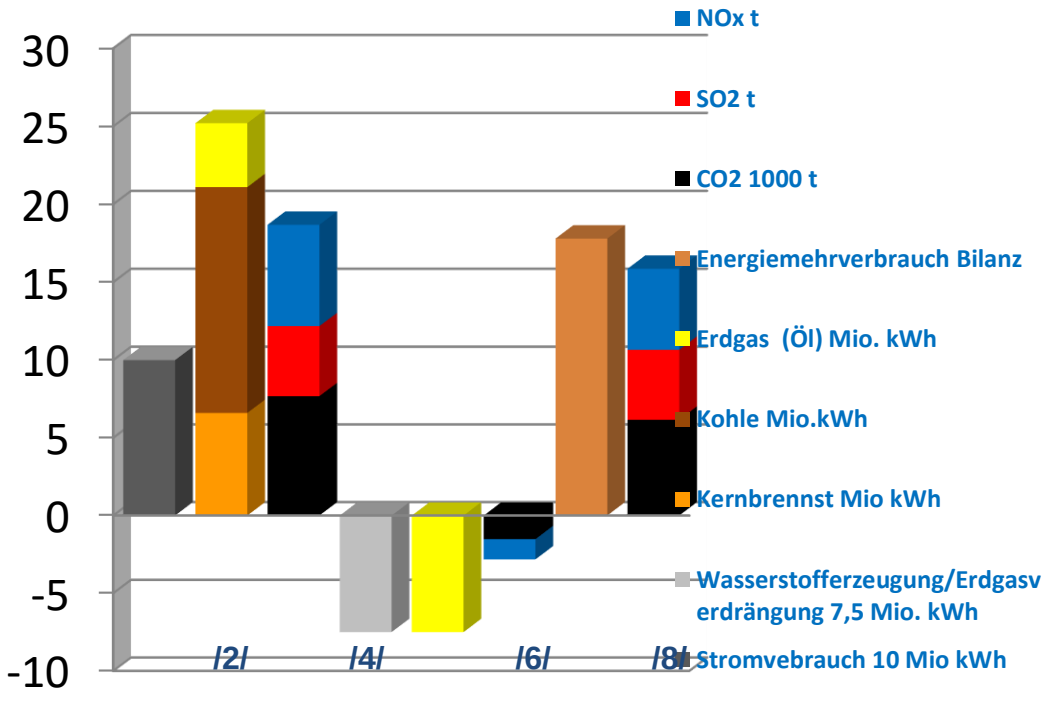


Quelle: V. von Schnurbein: Die Speicherung überschüssigen EE-Stroms durch synthetisches Methan, Energiewirtschaftliche Tagesfragen 62. Jg. (2012) Heft 9 S 38 ff. Eig. Anmerkung: mit dieser Graphik wird die von IWES, Kassel, angegebene Obergrenze von max. 36 % dargelegt. Da selbst der im Bau befindliche Elektrolyseur in Hamburg nicht mit 80 % sondern mit 70 – 75 % angegeben wird, und da 55 % bei fluktuierend arbeitenden Gasturbinen sehr optimistisch sind (52 sind realistischer), verschiebt sich gegenwärtig eine „optimistisch erreichbare Strom-Rückgewinnungsquote“ von 36 % auf 32 % (man beachte auch die jeweiligen Bandbreiten und Untergrenzen !).

E.ON Power to Gas Anlage Hamburg

Die im Bau befindliche Anlage nimmt 2 MW Strom auf und verbraucht bei angenommenen 5000 Benutzungsstunden 10 Mio. kWh Strom. Angesichts des Standorts und des Einspeisevorrangs existiert kein Argument, dass der Anteil erneuerbarer Energien an dem verbrauchten Strom größer als 0 oder höchstens 2 % ist. In der Bilanz ergibt sich ein Mehrverbrauch an nichterneuerbaren Energien (Kohle und Atom) von 17,8 Mio. kWh (25,3 Mio kWh /2/ - 7,5 Mio.kWh /5/), eine leichte Reduktion von Erdgas um 3,4 Mio. kWh, ein mehr an CO_2 Emissionen (Zusatzemissionen 7680 t /3/ abzüglich durch Wasserstoff verdrängte 1519 t /6/) von 6161 t /8/. 4,5 t SO_2 /8/ und ca. 4,8 t NO_x /8/ werden zusätzlich emittiert. E.ON Darstellung links – Realität rechts.





Wer hat Interesse an „power to gas“ ?

Wie gezeigt wurde, führt „power to gas“ in jeder Fallkonstellation zu einem deutlichen Anstieg des Bedarfs an konventionellem Strom, von Kernspaltung und Kohleverbrennung. Es wurde von den großen Kraftwerksbesitzern, insbesondere RWE und E.ON, in die Diskussion gebracht, massiv unterstützt und intensiv beworben. Wo E.ON zu lesen ist, ist auch E.ON enthalten.





Deshalb der Titel: „Beschäftigungsprogramm für Atom- und Kohlekraftwerke“

Strom – Wasserstoff - Umweg benötigt immer 3 - 4 mal mehr Energie, als die Alternativen (Beispiele)

1. VW Vergleich zwischen Batterie - Touran und Strom - Wasserstoff - Touran ergab den 3,9-fachen Energieverbrauch beim Wasserstoff - Touran

2. Die Deutsche Bahn untersuchte 1999 Strom - Wasserstofflokomotiven und ermittelte in diesem „worst case“ einen Gesamtwirkungsgrad (Kraftwerksbrennstoff bis Rad) von 6,1 %, 5 mal schlechter als eine Elektro- oder Diesellokomotive)

3. Eine Strom-Wasserstoff Heizung benötigt mindestens 4 x mehr Energie, als eine gute elektrische Wärmepumpe.

4. Im Beispiel Industrie (Folie weiter vorn) stehen einem Erdgaseinsatz von 8,6 Mio. kWh ein Kraftwerkbrennstoffeinsatz von 25,3 Mio. kWh (überwiegend Atom und Kohle) gegenüber; 3 - facher Energieeinsatz beim Wasserstoff - Weg.

5. Bei einem 2002 durchgeführten Wasserstoff- Feldversuch in Büsum, der von namhaften Firmen (NorskHydro, Jenbacher) begleitet wurde, wurden zwischen 13 und 15 % des Stroms zurückgewonnen, der „Rest“ vernichtet.

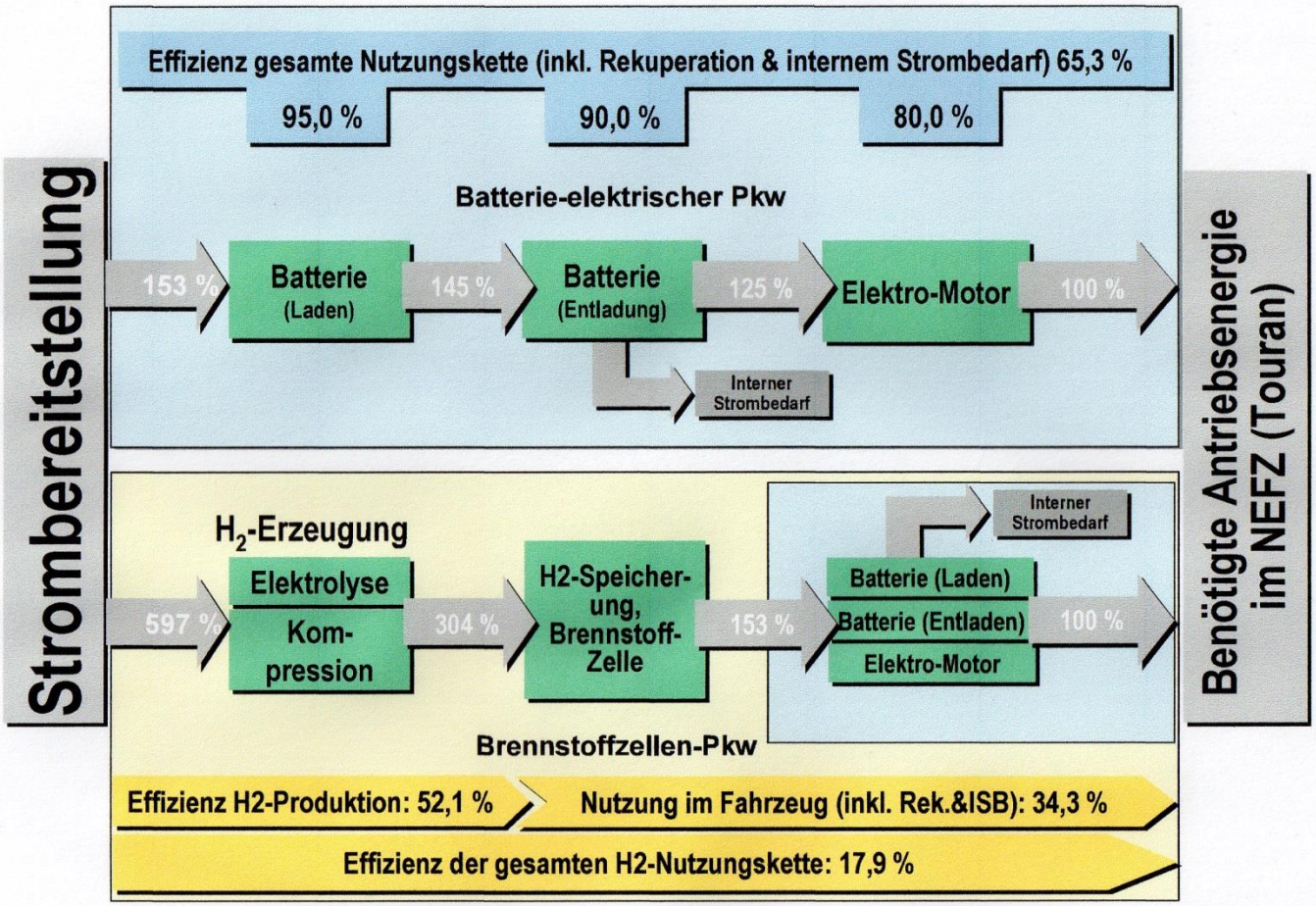
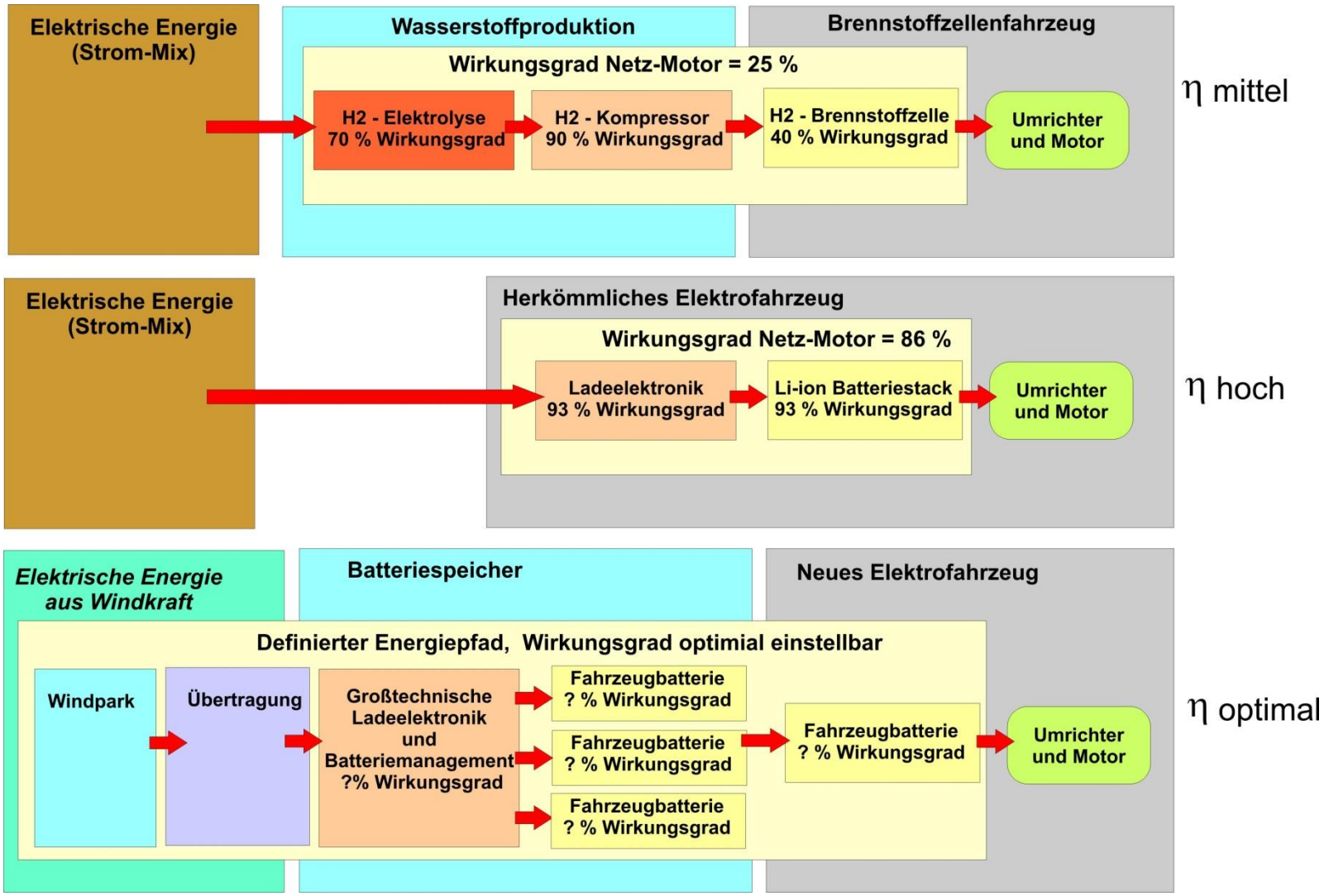


Abbildung 3.1: Effizienz der Stromnutzung über die Nutzungspfade „Batterie-elektrischer Antrieb“ und „Wasserstoff – Brennstoffzellen-elektrischer Antrieb“ am Beispiel des VW-Touran (Daten und Grafik: W. Steiger, Volkswagen AG, 2009; Grafik für die Darstellung hier von IFEU geringfügig modifiziert)

Im Antriebsbereich benötigt der Wasserstoffpfad (597 % : 153 %) 3,9 mal mehr Energie, als der Batteriepfad. IFEU, Kurzgutachten Wasserstoff- und Stromspeicher in einem Energiesystem mit hohen Anteilen erneuerbarer Energien; im Auftrag des BMU, 2009



Auch die VdEW bestätigte, dass der Energieverbrauch des Wasserstoffwegs 3,4 mal höher ist, als der Batteriepfad (86 : 25 bei Ausgangsgröße Strom)

Quelle: Vortrag „Einsatz von Windenergie im Verkehrssektor“, Roger Kohlmann, Verband der Elektrizitätswirtschaft e. V., stellvertretender Hauptgeschäftsführer

Seltsames Argument: „Wertschöpfung“ durch power to gas ????

Im Speicherfall soll der gespeicherte niederwertige Brennstoff Wasserstoff über den Brennstoff Methan/Erdgas in hochwertigen Strom umgewandelt werden.

Ist es dann „Wertschöpfung“, wie zuweilen behauptet wird, wenn man (bei der Nicht-Speicherung, also bei anderen Anwendungen) ohne Not und immer mit Subventionen hochwertigen Strom in niederwertigen Brennstoff (Wasserstoff) umwandelt, also



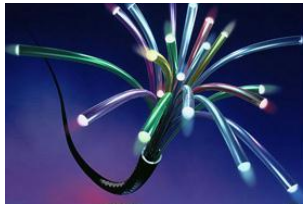
ein hochwertiges Produkt in ein wertärmeres umwandelt?





ein hochwertiges neues Fertigprodukt in den Ausgangs-rohstoff umwandelt?





ein leistungsfähiges System gegen ein weniger leistungsfähiges eintauscht?



Natürlich werden Speicher gebraucht, welche Optionen bestehen?

Wichtigste Option: Speichervermeidung durch Stromtransport.

Große Hochspannungs-Gleichstrom-Leitungen haben extrem geringe Verluste (3 % Verlust bei 1000 km), können gegenwärtig 6.400 MW übertragen (noch deutlich steigerbar) und wurden schon mehrfach im Ausland gebaut.

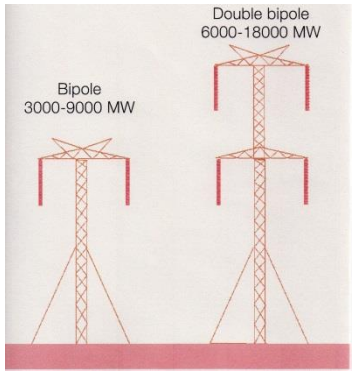
Um überhaupt ein System der erneuerbaren Energien sinnvoll betreiben zu können, das auch Großstädte und Industrieregionen versorgen kann, müssen überall dort, wo der Wind gerade weht und die Sonne gerade scheint, erheblich mehr Wind- und Solaranlagen installiert werden, als dort jeweils gebraucht werden, um die Überschüsse in die Gegenden zu transportieren, wo gerade kein Wind weht und keine Sonne scheint. Nur so bekommt man den Strom *fast vollständig wieder zurück*, wenn der Wind woanders weht, die Sonne woanders scheint und man ihn hier dringend benötigt.

Demgegenüber bekommt man beim Wasserstoff-Umweg nur ca. 30 % des Ursprungsstroms zurück

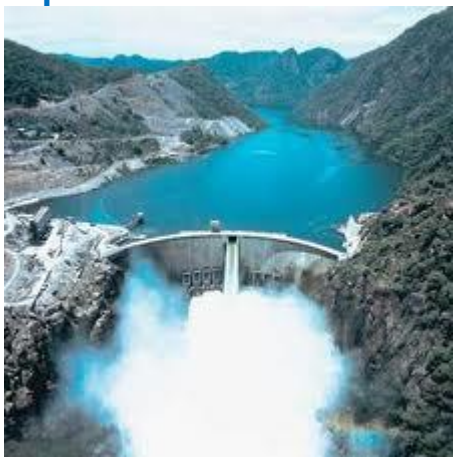


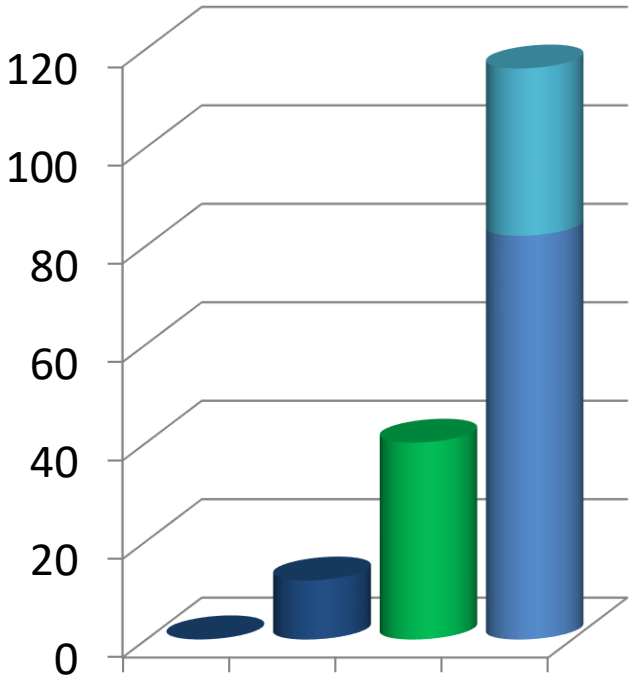
Die von ABB gebaute HGÜ Leitung Xianjiaba-Shanghai transportiert 6400 MW Strom über 2000 km Entfernung bei nur 6 % Verlust

Geplant / möglich sind 18000 MW auf einem Mastsystem; ABB Xilodu, China, 2000 km



Wasserspeichervolumen in D im Vergleich zu AT, CH, Norwegen und Schweden; Volumen ist in Skandinavien 2300 mal größer als in Deutschland, (116 / 0,05 TWh) und entspricht der Jahres-stromproduktionsmenge von 11 – 12 großen Kernkraftwerken (10 TWh)





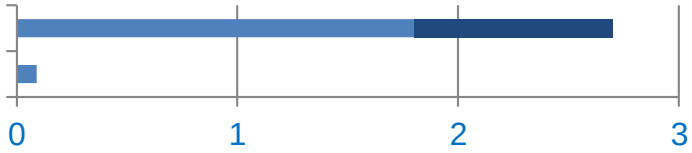
- Schweden 34 TWh*
- Norwegen 82 TWh *
- langfristiger Speicherbedarf in D für eine 100 % erneuerbare Stromzukunft: 40 TWh* *
- Österreich + Schweiz 12 TWh
- Deutschland 0,05 TWh

***Diese Menge könnte mit sehr geringen Leitungsverlusten (insgesamt 2 x 4 %, also 8 % hin- und zurück) für D / Europa ohne Pumpspeicher, durch „indirekte Speicherung“ (siehe Veröffentlichung und dort zitierte Prognos - Studie) nutzbar gemacht werden. Durch Pumpspeicher sind später Erweiterungen möglich.**
**** Gemäß Ergebnissen von Fraunhofer IWES, Kassel**

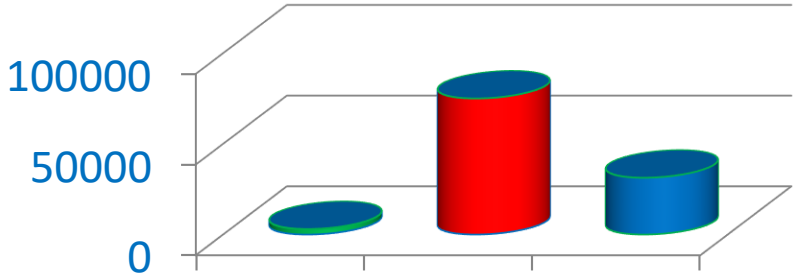
Spezifische Verluste, Anlagenbedarf und überschlägige Kosten im Vergleich Skandinavien Nutzung der über 100 TWh versus Wasserstofflösung in Deutschland

1. Spez. Verluste Wasserstoff - Umweg: 1,8 - 2,7 kWh pro kWh rückgewonnenem Strom; das 20 – 30- fache von 0,09

Spezifische Verluste Skandinavien: 0,09 kWh Strom pro kWh rückgewonnenem Strom



2. Erforderliche Anlagenzahl zum Verlustausgleich



- **31300 MW** Windleistung in Deutschland 2012
- **75000 MW** Anlagen zum Verlustausgleich H_2 Lösung
- **..3000 MW** Anlagen zum Verlustausgleich Skandinavien

3. Kosten (überschlägige Berechnungen)

Skandinavien: **55 Mrd €** sehr grob, aber großzügig geschätzt

Wasserstoff in Deutschland: < 255 Mrd € knapp geschätzt, da nur Anlagen-, aber keine Speicherkosten einbezogen

Mehrkosten bei Wasserstoff **weit größer als 200 Mrd €**, da bei H_2 - Lösung keine Speicherkosten einbezogen

Wasserstoff aus Strom widerspricht vielen Rechtsbereichen

Energiespargesetzgebung:	**vermeidbare Energieverluste sind zu vermeiden**
Klimaschutzrecht:	**allgemeines Minimierungsgebot Klimagasausstoß**
Immissionsschutzrecht:	**allgemeines Minimierungsgebot Schadstoffausstoß**
Landschaftsschutzrecht:	**vermeidbare Eingriffe (die vielen unnötigen Windkraftanlagen nur zum Verlustausgleich) sind zu vermeiden**
Naturschutzrecht:	**vermeidbare Eingriffe (die vielen unnötigen Windkraftanlagen nur zum Verlustausgleich) sind zu vermeiden**

Subventionsrecht: Subventionen für Techniken, die dauerhaft unwirtschaftlich sind und keine Chance haben, wirtschaftlich zu werden (dies wird auch von den Wasserstoffbefürwortern eindeutig konstatiert, siehe Anmerkungen im Aufsatz), sind außerhalb des reinen Forschungsbereichs normalerweise nach dem geltenden Subventionsrecht unzulässig. (Das Wirtschaftlichkeitsgebot hat Verfassungsrang und ist in allen Haushaltsordnungen des Bundes und der Länder verankert)

Schlussfolgerung: mit einem Konsens darüber, keine direkten und keine indirekten (EEG, Quotenanrechnung etc.) Subventionen für Wasserstoff aus Strom mehr zu gewähren, könnte allen Gesetzeszielen entsprochen werden. (Hinweis: die Brennstoffzelle ist nicht gemeint)

Wasserstoff aus Strom kommt im Original der Energiewende gar nicht vor

im fachlichen „Original“ der Energiewende, in einer der „Leituntersuchungen“ zur Energiewende der Bundesregierung, der Studie „Wege zu 100 % erneuerbarer Stromversorgung“ des Sachverständigenrats für Umweltfragen, trägt Wasserstoff als Speicher überhaupt nicht, nicht in einer Stunde des Jahres zur Systemoptimierung bei. Strom-Wasserstoff bzw. „power to gas“ spielt also in dem wissenschaftlich begründeten Konzept der Energiewende als Problemlösung gar keine Rolle, sondern ist von den genannten Interessengruppen in die Debatte hereingedrängt worden, um die bestehenden Kraftwerke vor der Absatzminderung durch Einspeisung von erneuerbarem Strom zu schützen.



Wasserstoff – Speicherung bzw. Wasserstoff – Elektrizitäts-erzeugung ist mit „0“ angesetzt

Klimaverträgliche und nachhaltige Stromversorgung im Jahr 2050

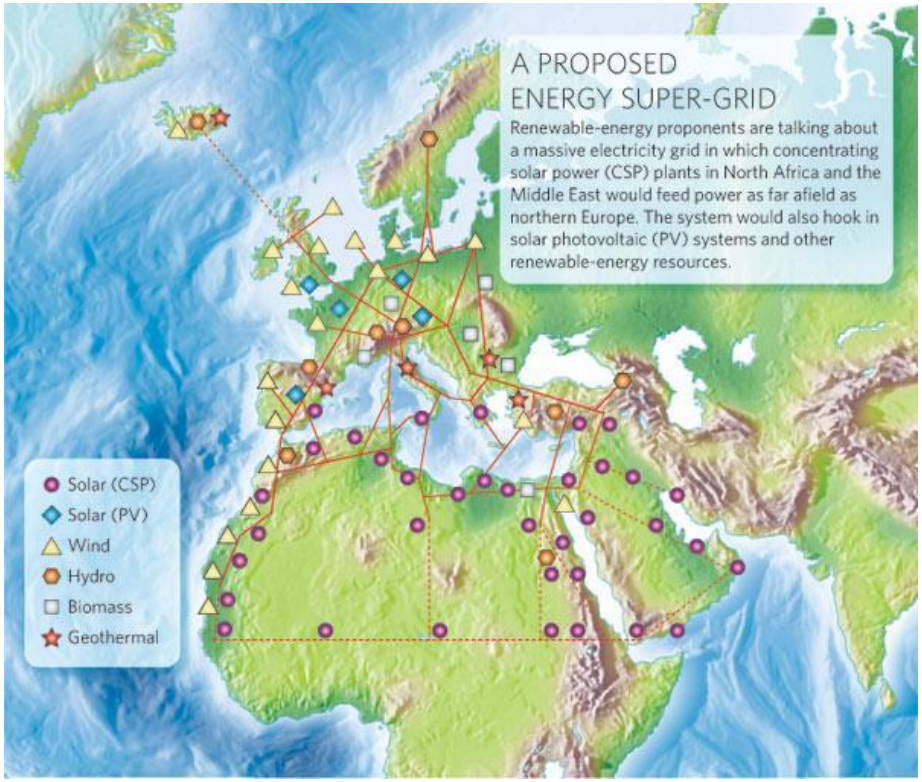
noch Tabelle 3-9

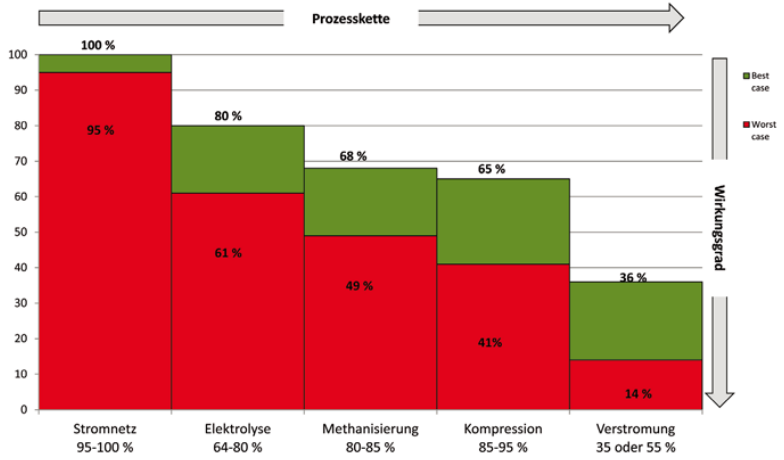
	Genutzte Leistung		Produktion		Genutztes Potenzial		Kosten			
	GW max		TWh/a		%		Mio. €/a		ct/kWh	
Feste Biomasse mit KWK	2,6	2,7	17,1	17,1	*40,8*	*40,8*	1.986	2.042	11,6	12,0
Biogas										
Biogas mit KWK	2,4	2,6	17,1	17,1	*64,3*	*64,3*	1.489	1.583	8,7	9,3
Laufwasserkraftwerke	4,1	4,1	20,2	25,3	*79,8*	*100,0*	1.337	1.337	6,6	5,3
Speicherwasserkraftwerke	0,3	0,3	2,3	2,3	*100,0*	*100,0*	107	104	4,7	6,9
Summen/Durchschnitt (brutto)	**120,9**	**237,6**	**437,2**	**595,4**			**22.117**	**41.373**	**5,1**	**6,9**
Import von Elektrizität			76,4	105,0			11.298	14.091	14,8	13,4
Speicherung von Elektrizität										
Pumpspeicher – Speicherung	0,8	0,6	1,5	0,8						
Pumpspeicher – Erzeugung	0,8	0,6	1,2	0,6			115	90	9,3	13,9
Druckluftspeicher – Speicherung	30,6	13,5	15,7	0,7						
Druckluftspeicher – Erzeugung	30,6	13,5	11,8	0,6			1.474	522	12,4	91,3
Wasserstoff – Speicherung										
Wasserstoff – Elektrizitätserzeugung										
Speicherverluste			4,7	0,3						
Gesamtnachfrage/-kosten	**81,0**	**111,5**	**509,4**	**700,0**			**35.004**	**56.075**	**6,9**	**8,0**
Überkapazität/-produktion	71,3	140,2	0,1	0,0						

Quelle: SRU 2010, basierend auf DLR 2010b

Vernetzen statt vernichten

Einspeisung und Erhalt von Strom statt Beschäftigungsprogramm für Atom- und Kohlekraftwerke





Ich danke für die Aufmerksamkeit

Vernetzen statt vernichten - Folien zur Veröffentlichung, Dr.-Ing. Hartmut Euler, Kiel

Kann Forschung den Wirkungsgrad bei „power to gas“ wesentlich verbessern?

1. **Wirkungsgrad Elektrolyseur**, Strom – Brennstoff: hier gibt es eine physikalische Obergrenze von 86 %, die mit der Oberflächenspannung des Wasserstoffs zusammenhängt. Die 2 MW Anlage der E.ON in Hamburg-Reitbrook ist mit 70 – 75 % Wirkungsgrad angegeben (kaum noch verbesserbar).
2. **Handling** des Wasserstoffs: Einpressen des Wasserstoffs in irgendeinen Speicher verbraucht 15 %, hierbei gehen wegen des Drucks und der geringen Größe das Wasserstoffatoms relevante Mengen normalerweise durch Verflüchtigung verloren. Zur Vermeidung muss man gefrieren / verflüssigen: Verlust ca. 20 %. Bei Einspeicherung in Erdgasnetze muss bei einem Anteil von mehr als ca. 5 % (um Verflüchtigung zu vermeiden) der Wasserstoff in Methan umgewandelt werden, (Wirkungsgrad Strom - H_2 - Methan nach Literatur praktisch nicht über 60 %.)
3. **Rückverstromung**: Brennstoffzellen erreichen real Wirkungsgrade von ca. 50% (nur theoretisch unbegrenzt), kleinere Motoren von 40 %. Große Motoren von ca. 10 MW können Wirkungsgrade von 45 % erreichen. Die Wirkungsgrade der großen Gas und Dampf Anlagen von bis zu 60,5 % (Irsching, Weltrekord) können nicht herangezogen werden, da der Dampfturbinenprozess träge ist und solche Anlagen eher nicht für fluktuierenden Bedarf geeignet sind. Bei Gasturbinen sind aber etwas über 50 % schon gut.

Im Ergebnis gehen immer ca. 70 % der Arbeitsfähigkeit verloren:

(0,75 * 0,85* 0,97 * 0,4 bzw. 0,5 = 0,247 bzw 0,309), also 25 % bis 31 % bei kleinen Anlagen mit Motor oder Brennstoffzelle

oder (0,75 * 0,8 * 0,97 * 0,52 = 0,303), also 30,3 % bei grossen Turbinenanlagen und Verflüssigung

oder (0,6 * 0,97 + 0,52 = 0,303), also 30,3 % bei Methanisierung und Einspeisung ins Gasnetz und großer Gasturbine, Werte deutlich über 30 % sind schon „sportlich“ und die zitierten Angaben von Fraunhofer IWES von 36 % dürften in der Praxis draußen kaum erreichbar sein.

Hinweis 1: Einpressen, Gefrieren, Transport etc. sind konventionelle Techniken praktisch ohne Verbesserungspotential. Lediglich beim Elektrolyseur sind geringe, bei der Brennstoffzelle wohl nur theoretisch deutliche (hier wird schon sehr lange geforscht!) Verbesserungs-möglichkeiten gegeben.

Hinweis 2: Ein Wirkungsgrad von 0,3 (30 %) bedeutet, dass 1 / 0,3 = 3,33 mal soviel Strom eingesetzt werden muss um eine kWh zurückzubekommen. 2,33 kWh pro kWh rückgewonnenen Stroms werden nur zum Ausgleich der Verluste benötigt.